

ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЕВЫХ ДИОДОВ С ПРИМЕСЬЮ Zn ПОД ВЛИЯНИЕМ МАЛОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Г. М. АВАКЬЯНЦ, С. А. ТАРУМЯН

Показано, что при данном постоянном смещении и данной амплитуде синусоидального сигнала существует определенная полоса частот, при которых происходит переключение диода из высокоомного состояния в низкоомное.

В настоящее время имеется ряд работ по изучению процессов, протекающих в диодных структурах $p-n-p^+$ -типа в режиме гармонического сигнала, наложенного на постоянное смещение [1—3]. В этих работах рассмотрены структуры с высокоомной некомпенсированной базой. Авторами работы [1] показано, что с увеличением частоты переменного сигнала активное сопротивление вышеуказанной структуры падает. Так как диоды с компенсированной базой имеют S -образную вольт-амперную характеристику, то интересно выяснить, может ли уменьшение активной составляющей сопротивления под действием малого гармонического сигнала привести к переключению диода из высокоомного состояния в низкоомное при напряжениях смещения, заведомо меньших напряжения срыва на постоянном токе.

В настоящей работе исследуются свойства p^+-n-p^+ -структур из кремния, компенсированного цинком, в режиме малого гармонического сигнала, наложенного на постоянное смещение в прямом направлении. Образцы были изготовлены из n -кремния с исходным удельным сопротивлением $4\div 11$ ом см. После компенсации тип проводимости не менялся, а удельное сопротивление возрастало на три порядка. Технология компенсации материала и изготовления диодов изложена в [4, 5]. Измерения в основном проводились с учетом того, что суммарная величина постоянного и переменного напряжений всегда должна оставаться меньше напряжения срыва диода в статическом режиме. Отклонение от этого условия делалось в основном для точек вблизи срыва.

Исследования показали, что при данном смещении на диоде и при некоторой амплитуде синусоидального сигнала постепенным увеличением частоты до некоторого значения $f_{гр}$ можно добиться срыва, т. е. осуществить переход из заданной точки в точку минимума на ВАХ. Дальнейшее увеличение частоты не вызывает никаких изменений состояния диода. При измерениях выяснилось, что для данного постоянного смещения существует минимальная величина амплитуды переменного сигнала, под действием которого возможен срыв диода. Иначе говоря, если амплитуда синусоидального напряжения меньше определенной величины, то диод остается в выключенном состоянии при любой частоте переменного сигнала в интервале $f = 0 \div 200$ кГц.

Как было сказано выше, если диод переключается переменным сигналом с постепенным увеличением частоты, то с дальнейшим увеличением частоты до указанного предела он остается в точке минимума. С этой точки зрения определенный интерес представляло исследование явления переключения при высоких частотах в случае, когда частота задается заранее, а амплитуда переменного сигнала плавно увеличивается от нуля до значений, больших минимального. Исследования показали, что при частоте порядка нескольких килогерц переключения диода из высокоомного состояния в низкоомное не происходит. Оно не имеет места и при дальнейшем увеличении частоты. Измерения показали, что с уменьшением частоты переключение в низкоомное состояние происходит при сравнительно больших значениях f , чем то, которое наблюдалось при постепенном увеличении частоты. С дальнейшим уменьшением f вплоть до значений $f_{гр}$ и ниже диод остается во включенном состоянии. Если величина переменного напряжения минимальная, то при постоянном понижении частоты срыв происходит именно при той же частоте. Чем выше амплитуда переменного сигнала, тем больше разница этих частот. Было также выяснено, что переключение происходит при любых частотах, заключенных между этими двумя значениями. Таким образом нами установлено, что при данном постоянном смещении в прямом напряжении и при определенной амплитуде синусоидального сигнала имеется некоторая полоса частот, при которых диод из данной точки на ВАХ, расположенной далеко от срыва, переходит во включенное состояние. Измерения показывают, что с увеличением переменного напряжения нижняя граница этой полосы частот уменьшается, а верхняя граница, наоборот, увеличивается.

На рис. 1 приведена зависимость частот синусоидального сигнала, при которых происходит переключение диода в низкоомное состояние, от его амплитуды для разных постоянных смещений. Значение точки поворота на каждой кривой соответствует минимальному напряжению, при котором еще возможно переключение. Чем дальше расположена точка от точки срыва на ВАХ, тем выше значение минимальной амплитуды. С увеличением смещения на диоде точка поворота резко смещается в сторону низких частот. Для образца с $V_{ср} = 52$ в, характеристики которого приведены на рисунке, явление переключения начинается с 17 в и сохраняется вплоть до точки срыва. При постоянных смещениях ниже 17 в переменный сигнал с амплитудой 30 в не вызывал переключения диода. С увеличением смещения на образце монотонное уменьшение нижней границы полосы частот от амплитуды переменного сигнала постепенно переходит в экстремальную, причем область минимума смещается в сторону больших значений синусоидального напряжения. Такая зависимость наблюдается на всех приборах независимо от величины напряжения срыва.

Из приведенного рисунка можно сделать некоторые выводы относительно зависимости границ полосы частот от прямого смещения на

диоде при данных амплитудах переменного сигнала. Однако детальное изучение этих закономерностей выявило некоторые особенности, которые нельзя усмотреть из вышеприведенного графика. Измерения

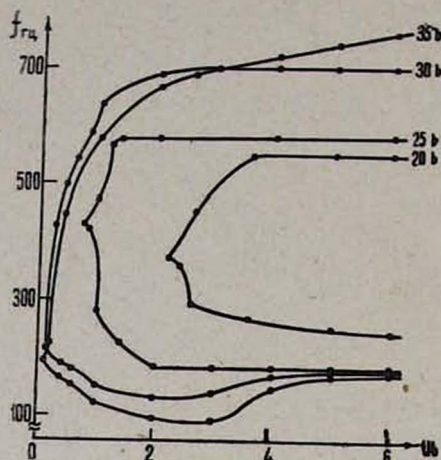


Рис. 1. Зависимость граничных частот, при которых происходит переключение диода в низкоомное состояние, от амплитуды переменного сигнала для разных постоянных смещений.

показывают, что зависимость нижней границы полосы частот от постоянного смещения на диоде при малых амплитудах переменного сигнала является монотонно возрастающей функцией. С увеличением величины синусоидального напряжения она переходит в зависимость с минимумом, которая затем сменяется на убывающую, причем этот минимум сначала углубляется передвигается влево, а затем смещается вправо и исчезает. Поведение верхней граничной частоты от постоянного смещения несколько иное, хотя и в этом случае тоже имеется область с минимумом. В данном случае эта область начинается после быстрого роста частоты. При повышении амплитуды переменного сигнала точка минимума заметно передвигается в сторону малых смещений, „яма“ постепенно выравнивается и в конце концов кривая принимает форму монотонно возрастающей функции.

При исследовании влияния внешней нагрузки на явление переключения выяснилось, что нижняя граница полосы частот с увеличением последовательно подключенного сопротивления сначала резко падает, а затем начинает медленно расти (рис. 2). Было также установлено, что для каждого значения постоянного смещения существует минимальное значение внешней нагрузки, выше которого эффект исчезает. Из рисунка видно, что с увеличением напряжения предельная величина внешней нагрузки возрастает. Разумеется, она является граничной и для верхней граничной частоты. В отличие от нижних верхние частоты сравнительно слабо зависят от внешней нагрузки.

Некоторые из указанных выше особенностей влияния переменного сигнала на характеристики S -диодов с примесью цинка можно объ-

яснить в рамках немоного изменения активной составляющей динамического сопротивления с частотой. За время положительного полупериода переменного сигнала происходит инжекция неосновных но-

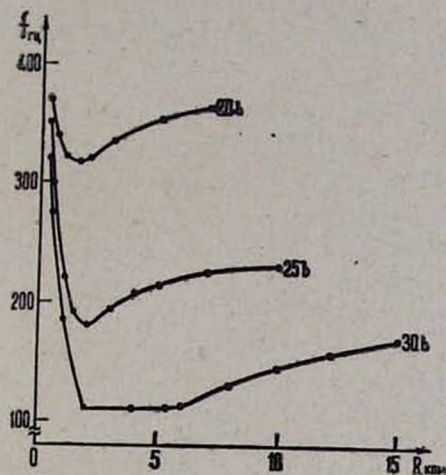


Рис. 2. Зависимость нижней границы полосы частот от нагрузочного сопротивления при разных постоянных смещениях на диоде (амплитуда переменного сигнала — 2σ).

сителей в базу диода. При смене полярности некоторая часть этих носителей остается в базе до прихода следующего положительного полупериода. За время многократного прохождения сигнала количество накапливающихся в базе носителей непрерывно увеличивается. Этому, в частности, способствует большое время жизни носителей при оптимальных размерах базы. Накопление будет продолжаться до тех пор, пока не наступит срыв из-за сильной модуляции сопротивления базы при данном постоянном смещении. Из сказанного ясно, что должна существовать некоторая минимальная частота, чтобы указанное явление (срыв на малом переменном сигнале) имело место. Если частота переменного сигнала будет слишком большой, то дырки, инжектированные за время положительного полупериода, не успеют заметно продиффундировать вглубь базы, так как быстро наступает отрицательный полупериод и находящиеся у p - n -перехода носители экстрагируются из базы. Таким образом легко объясняется наличие полосы частот переменного сигнала, под действием которого происходит переключение диода из высокоомного состояния в низкоомное. В рамках этого объяснения легко понять и зависимость граничных частот от амплитуды синусоидального сигнала. Действительно, чем выше амплитуда, тем больше носителей инжектируется в базу и, следовательно, при меньших частотах произойдет накопление необходимого для срыва числа носителей. Следовательно, с увеличением амплитуды переменного сигнала нижняя граничная частота должна уменьшаться. В области верхней границы полосы частот повышение амплитуды сигнала, очевидно, будет способ-

ствовать „просачиванию“ вглубь базы все большей части носителей, что увеличит верхнюю предельную частоту срыва.

Сравнительно легко понять и зависимость граничных частот от нагрузочного сопротивления. Если величина этого сопротивления мала, то из-за малого RC цепи инжектированные в положительном полупериоде носители за время следующего полупериода успеют выйти из базы и, таким образом, количество оставшихся в базе носителей за один период будет меньше. В этом случае для накопления требуемого количества носителей уже потребуется сравнительно большая частота. Таким образом, с увеличением нагрузочного сопротивления нижняя граничная частота должна падать. Увеличение RC цепи не только препятствует выходу носителей из базы, но и задерживает приток электронов с тылового контакта для поддержания условия квазинейтральности. С целью объяснения результатов, приведенных на рис. 2, можно предположить (скажем, в силу неодинаковости сопротивлений базы до и после инъекции дырок), что при малых $R_{нагр}$ внешняя нагрузка больше влияет на время рассасывания носителей (увеличивая это время), тогда как при сравнительно больших $R_{нагр}$ она уже является определяющей для процесса накопления (задерживая этот процесс). В итоге в первом случае увеличение $R_{нагр}$ уменьшает критическую частоту срыва, а во втором случае критическая частота растет (ибо имеет место слабое накопление носителей).

Вполне понятно, что если нагрузочная линия пересекает вольт-амперную характеристику диода только в одной точке, то в этом случае срыв не произойдет. Именно такая картина и наблюдается, когда при данном смещении на диоде $R_{нагр}$ увеличивается. Ясно, что чем больше постоянное смещение, тем выше будет критическое значение внешней нагрузки, при котором еще возможен срыв (см. рис. 2). Наличие двух и более диапазонов частот, где наблюдается резкое влияние малого переменного сигнала на вольт-амперную характеристику диода, вероятно связано с существованием двух и более участков базы, ответственных за срыв. Эти участки проявляют себя, вообще говоря, в разных частотных интервалах.

Бесспорно, эти соображения могут быть уточнены лишь после проведения теоретических расчетов влияния малого переменного сигнала на ВАХ диодов с детальным учетом специфики исследуемого в настоящей работе кремния, компенсированного цинком [6].

Институт радиофизики и электроники
АН АрмССР

Поступила 8.VII.1976

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Н. А. Прима, Ю. А. Тхорик. ФТП, 1, 535 (1967).
2. Д. А. Аронов, Я. П. Котов. Радиотехника и электроника, 12, 1479 (1957).
3. I. F. Nordman, R. A. Greiner. IEEE Trans., ED, 10, 171 (1963).
4. Г. М. Авакьянц, Э. Н. Адамян, С. А. Тарумян. ДАН АрмССР, 9, № 2 (1974)
5. Г. М. Авакьянц и др. ДАН АрмССР, 11, № 2 (1971).
6. Э. Н. Адамян, В. М. Арутюнян. Изв. АН АрмССР, Физика, 9, 484 (1974).

Zn-ով ԿՈՄՊԵՆՍԱՑՎԱԾ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄԱՅԻՆ ԴԻՈԴՆԵՐԻ
ՓՈՒՍԱՆՋԱՏԻՉ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԹՈՒՅԼ ՀԱՐՄՈՆԻԿ
ԱԶԳԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՏԱԿ

Գ. Մ. ԱՎԱԿՅԱՆՑ, Ս. Ա. ԹԱՌՈՒՄՅԱՆ

Աշխատանքում ցույց է տրված, որ հարմոնիկ ազդանշանի տվյալ հաստատուն շեղման և ամպլիտուդայի դեպքում գոյություն ունի հաճախությունների որոշակի տիրույթ, որտեղ տեղի է ունենում անցում դիոդի մեծ դիմադրության վիճակից փոքր դիմադրության վիճակը:

SWITCHING PROPERTIES OF SILICON DIODES WITH Zn
IMPURITY UNDER THE INFLUENCE OF SMALL
HARMONIC SIGNAL

G. M. AVAKYANTS, S. A. TARUMYAN

Under the given constant bias and amplitude of harmonic signal, a certain frequency band is shown to exist within the range of which the switching from high-resistance into low-resistance state takes place.